

УДК 69.05:658.382

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОПОДЪЕМНИКОВ С УЧЕТОМ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ

БЕЛИКОВ А. С.¹, *д. т. н., проф.*,
УЛИТИНА М. Ю.^{2*}, *соискатель*,
ТИМОШЕНКО Е. А.³, *к. т. н., доц.*,
ДОЛГОПОЛОВА Н. В.⁴; *к. т. н.*,
КАСЬЯН А. И.⁵; *к. т. н.*

¹ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Департамент образования и науки Харьковской областной государственной администрации, Харьков, Украина, тел. +38 (057) 705-03-14, e-mail: m_ulitina@ro.ru, ORCID ID: 0000-0001-9678-6842

³ Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: timshenkelenka09121969@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

⁴ Отдел прочности и оптимизации конструкций, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, ул. Пожарского, 2/10, 61046, Харьков, Украина, тел. +38 (050) 632-08-00, e-mail: n_dolgoplova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4326-2284

⁵ Государственная пожарно-спасательная часть № 11, ул. Ньютона, 132, Харьков, 61162, Украина, тел. +38 (050) 576-92-92, e-mail: n_dolgoplova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8969-3792

Аннотация. *Постановка проблемы.* Вопрос безопасности проведения работ с применением подъемно-транспортного оборудования изучен недостаточно. *Методика.* В ходе исследований потери устойчивости рассмотрены обобщенные уравнения вибрации и динамической устойчивости прикладной механики с применением современных методов математической обработки полученных результатов на ЭВМ. *Результаты.* При участии Харьковского гарнизона пожарной охраны создан отечественный коленчатый подъемник, названный «Автоподъемник гидравлический пожарный АПП-30». Использование на практике таких объектов требует обеспечения устойчивости их в рабочих режимах. В общем случае анализ критериев устойчивости осуществлен на основании уравнений динамики. Такой анализ тем точнее отображает реальность, чем полнее учитываются свойства и особенности конкретного объекта. Этот вопрос непосредственно связан с принятием такой расчетной схемы (модели), которая должна по возможности полнее отображать суть исследуемых явлений устойчивости и в то же время не должна быть слишком сложной в математическом отношении. В качестве основополагающей модели анализа устойчивости принята динамическая модель, которая допускает возможность совершения колебаний объекта относительно точек *A* и *B* и отражает перспективную идею создания новой гибридной конструкции АЛ-АКП, согласно поданной заявке на патент Украины. *Научная новизна.* Учитывая, что до настоящего времени отсутствует обоснование безопасного применения автоподъемников предложено дополнение методики устойчивости автоподъемников с моделированием возможных колебаний конструкций в процессе эксплуатации. *Практическая значимость.* Проведенное моделирование колебаний конструкций объектов позволяет оценить устойчивость автоподъемников с учетом характера выполняемых работ.

Ключевые слова: потеря устойчивости; подъемно-транспортные машины; аварийно-восстановительные работы; моделирование; опорные элементы машин; теория колебаний

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ АВТОПІДЙОМНИКІВ З УРАХУВАННЯМ ЇХ СТІЙКОСТІ

БЕЛІКОВ А. С.¹, *д. т. н., проф.*,
УЛІТИНА М. Ю.^{2*}, *здобувач*,
ТИМОШЕНКО О. А.³, *к. т. н., доц.*,
ДОЛГОПОЛОВА Н. В.⁴; *к. т. н.*,
КАСЬЯН О. І.⁵; *к. т. н.*

¹ Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Департамент освіти і науки Харківської обласної державної адміністрації, Харків, Україна, тел. +38 (057) 705-03-14, e-mail: m_ulitina@ro.ru, ORCID ID: 0000-0001-9678-6842

³ Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: timschenkelen09121969@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

⁴ Відділ міцності та оптимізації конструкцій, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, вул. Пожарського, 2/10, Харків, 61046, Україна, тел. +38 (050) 632-08-00, e-mail: n.dolgoplova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4326-2284

⁵ Державна пожежно-рятувальна частина №11, вул. Ньютона, 132, Харків, 61162, Україна, тел. +38 (050) 576-92-92, e-mail: n.dolgoplova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8969-3792

Анотація. Постановка проблеми. Питання забезпечення безпеки проведення робіт із застосуванням підйомно-транспортного устаткування вивчене недостатньо. **Методика.** В ході досліджень втрати стійкості розглянуто узагальнені рівняння вібрації і динамічної стійкості прикладної механіки із застосуванням сучасних методів математичної обробки отриманих результатів на ЕОМ. **Результати.** За участю Харківського гарнізону пожежної охорони створено вітчизняний колінчастий підйомник, названий «Автопідйомник гідравлічний пожежний АППП-30». Використання на практиці таких об'єктів потребує забезпечення стійкості їх у робочих режимах. У загальному випадку аналіз критеріїв стійкості здійснено на підставі рівнянь динаміки. Такий аналіз тим точніше відображає реальність, чим повніше враховуються властивості й особливості конкретного об'єкта. Це питання безпосередньо пов'язане з прийняттям такої розрахункової схеми (моделі), яка повинна якнайповніше відображати суть досліджуваних явищ стійкості, і в той же час не бути занадто складною в математичному відношенні. За основну модель аналізу стійкості прийнято динамічну модель, яка допускає можливість здійснення коливань об'єкта щодо точок A і B і відображає перспективну ідею створення нової гібридної конструкції АЛ-АКП, згідно з поданою заявкою на патент України. **Наукова новизна.** З огляду на те, що дотепер відсутнє обґрунтування безпечного застосування автопідйомників, запропоновано доповнення методики стійкості автопідйомників із моделюванням можливих коливань конструкцій в процесі експлуатації. **Практична значимість.** Проведене моделювання коливань конструкцій об'єктів дозволяє оцінити стійкість автопідйомників з урахуванням характеру виконуваних робіт.

Ключові слова: втрата стійкості; підйомно-транспортні машини; аварійно-відновні роботи; моделювання; опорні елементи машин; теорія коливань

SAFE HANDLING LIFT TRUCKS IN ACCORDANCE WITH THEIR STABILITY

BELIKOV A.S.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
 ULITINA M.Yu.^{2*}, *competitor*,
 TYMOSHENKO O.A.³; *Cand. Sc. (Tech.), Ass. of Prof.*,
 DOLHOPOLOVA N.V.⁴; *Cand. Sc. (Tech.)*,
 KASJAN O.I.⁵; *Cand. Sc. (Tech.)*.

¹ Department of Life Safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bdg@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of science and education of Harkiv regional state administration, Harkiv, Ukraine, tel. +38 (057) 705-03-14, e-mail: m_ulitina@ro.ru, ORCID ID: 0000-0001-9678-6842

³ Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: timschenkelen09121969@rambler.ru, ORCID ID : 0000-0003-3114-9820

⁴ The A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Pozharsky str., 2/10, Kharkiv, 61046, Ukraine, tel. +38 (050) 632-08-00, e-mail: n.dolgoplova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4326-2284

⁵ State Fire and Rescue Department no. 11, Nemyshlyansk district of Kharkiv, Newton str., 132, Kharkiv, 61162, Ukraine, tel. +38 (050) 576-92-92, e-mail: n.dolgoplova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8969-3792

Abstract. Statement of the problem. Ensuring the safety of the product with materials handling equipment. **Method.** During buckling studies considered generalized equations of vibration and dynamic stability Applied Mechanics with the use of modern methods of mathematical processing of the results on a computer. **Results.** With the assistance of the Kharkov garrison fire department established domestic crank lift, called "hydraulic car lift fire APGP-30." Characteristic features of the use in practice of such facilities leads to the fact that ensuring the sustainability of their operating conditions becomes essential, especially in the design of new high-rise structures and the modernization of existing ones. In general, the analysis of the sustainability criteria was done on the basis of dynamic equations. This analysis reflects the reality more accurate than fully take into account the properties and characteristics of a particular object. This question is directly related to the adoption of such a settlement scheme (model), which should, if possible, better reflect the essence of the phenomena being investigated stability, and at the same time should not be too complicated mathematically. As the underlying dynamic model of stability analysis of the model adopted, which allows for the possibility of making an object oscillation relative to the points A and B and reflects the promising idea of creating a new hybrid design AL-automatic transmission, according to the filed patent application of Ukraine. **Scientific novelty.** Given that to date there is no justification for the safe use of car lifts, in relation to the characteristics of used cranes sustainability assessment methods

proposed to supplement stability lifters methods with simulations of possible designs vibrations during operation. *Practical meaningfulness.* The simulation object structures to evaluate vibrations lifters stability, given the nature of work performed.

Keywords: buckling; lifting machines; emergency repair work; modeling; supporting members of machines; vibration theory

Постановка проблеми

Устойчивість практично всіх підъемно-транспортних машин являється одним із важливих питань, не достатньо вивчених в задачах транспортної механіки. Це виражається як в різних підходах к даному питанню в правилах і нормах стійкості, застосовуваних к різним об'єктам, так і в відсутності надійних практичних керівних матеріалів по їх конструюванню, які мали б обов'язкову силу в Україні. Проблема правильного розв'язання цього комплексу питань особливо гостро стоїть і сьогодні стоїть в відношенні автопідъемників колісних (АКП) і автолестниць (АЛ), в частині їх використання з забезпеченням безпеки роботи рятувальників при рятуванні людей, терплячих бідствіє в висотних будівлях і в будівлях підвищеної етажності.

Аналіз останніх досліджень, виділення нерешених раніше частей загальної проблеми

Одним із варіантів масового рятування людей з верхніх етажер сучасних будівель і споруд передбачається застосування спеціального рятувального рукава, який монтується в кінцевій точці розгорнутого на потрібну висоту автопідъемника або автолестниці. Трагічні випадки в Україні декілька смертельних випадків при застосуванні рятувальних рукавів на тренуваннях поставили під сумнів доцільність їх застосування, і, в кінці кінців, вони були заборонені к використанню. Хоча при розслідуванні цих ЧС задача о можливих коливаннях таких об'єктів з рукавами навіть не ставилась. Тем більше не розглядалися питання їх стійкості. А це необхідно, по крайній мірі, по відношенню ко вночі створюваним конструкціям.

Цель работы: підвищення безпеки ведення робіт з використанням підъемно-транспортного обладнання.

Изложение основного материала исследований

На рисунке 1 представлено фото створеного при участі Харківського гарнізону пожежної охорони вітчизняного колісного підъемника, названого «Автопідъемник гідравлічний пожежний АППП-30».

При використанні на практиці особливо важливо забезпечити стійкість таких конструкцій.

В загальному випадку аналіз критеріїв стійкості можна здійснити, як було сказано, на основі рівнянь динаміки. Такий аналіз буде тим точнішим, чим повніше будуть враховані

своєрства і особливості конкретного об'єкта. Цей питання безпосередньо пов'язане з прийняттям такої розрахункової схеми (моделі), яка повинна по можливості повніше відображати сутність досліджуваних явищ стійкості, і в той же час не бути занадто складною в математичному відношенні.



Рис. 1. Колісний автопідъемник гідравлічний пожежний (АППП-30) з висотою розгорнутої стріли до 30 м / Fig. 1. Articulated forklift truck hydraulic fire (APGP-30) with a boom deployment of up to 30 m

Використавшись зауваженнями, викладеними в роботах [1–4], автори прийняли в якості основопологаючої моделі аналізу стійкості динамічну модель, представлену на рисунку 2, яка допускає можливість здійснення коливань об'єкта відносно точок *A* і *B* і відображає перспективну ідею створення нової гібридної конструкції АЛ-АКП, згідно поданої заявкою на патент України.

Ітак, дискретна модель складається з чотирьох зосереджених мас, з'єднаних пружними зв'язками, і з допомогою аутригерів опирається на жорстке підґрунтя завдяки чотирьом опорним елементам, попарно утворюючи два ребра опрокидывания *A* і *B* (рис. 2):

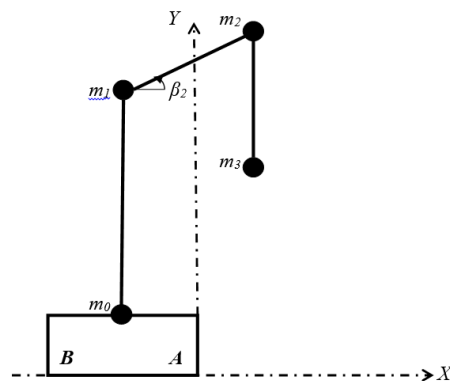


Рис. 2. Дискретна модель досліджуваного об'єкта / Fig. 2. Discrete model of the object

Приведенную на рисунке 2 модель следует доопределить некоторым набором физических и геометрических ее параметров. А именно:

- **Физические параметры.** Для определения численных значений масс m_i ($i = 0, 1, 2, 3$) приняты такие же величины, что и в реальном объекте с учетом особенностей моделирования, связанных с их пересчетом (приведением) к какому-то звену. В частности, m_3 отображает вес спасаемого пострадавшего (при помощи спасательного рукава). Или же – вес полезного груза, если объект является обычным подъемным краном. Массы m_2 и m_1 определяются в соответствии с правилами эквивалентного частотного приведения для этого звена методом Терских – Ривина. Масса m_0 объединяет массы элементов всего нижнего строения конструкции объекта – портала. Значения жесткостей упругих звеньев устанавливаются при помощи уравнений Галеркина, приведенных в работах [5–8].

- **Геометрические параметры.** На рисунке 4 представлена расчетная динамическая модель по разработанному при участии харьковских специалистов проекту АПП-30. Соответственно исходной схеме следует рассмотреть следующие случаи движения:

- случай 1 – реакции в опорных точках ребер A и B больше нуля;
- случай 2 – реакции в опорных точках ребер A или B поочередно принимают значения, равные нулю. Тогда наступает отрыв опор нижней части конструкции (ходовой части) от основания, и колебания осуществляются около этих точек.

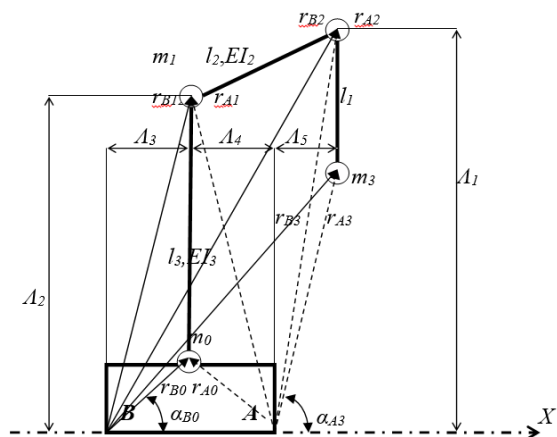


Рис. 3. Схема к определению геометрических параметров модели: индексация радиусов-векторов и углов их ориентации осуществляется в соответствии с ребром опрокидывания и с номером сосредоточенной массы / Fig. 3. Driving to the definition of the geometric parameters of the model: indexing radius vectors and angles of orientation in accordance with tipping edge and concentrated mass number

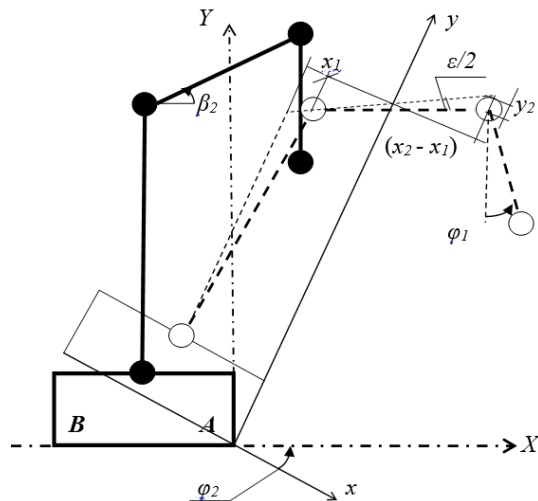


Рис. 4. Модель колебаний конструкции объекта при его повороте относительно ребра опрокидывания A : тонкий пунктир – недеформированная геометрия верхнего строения объекта; пунктир жирный – деформированное состояние изгиба 2 элементов конструкции (на рисунке упрощенно консольные изгибы колонны и стрелы не показаны) / Fig. 4. Model construction vibrations of the object as it rotates relative to the edges of overturning A : thin dotted line - undeformed geometry of the upper structure of the object; dotted fatter - strained state of bending 2 structural elements (shown simplified cantilever bends columns and arrows are not shown)

Заметим, что на рисунке 4 изображен вариант случая 2 – отклонения элементов объекта при обезгруживании опор по линии ребра B (поворот всей системы объекта относительно точки A).

В дальнейшем исследуются только те случаи, когда попеременно возникают отклонения всей конструкции объекта в целом относительно точек A и B , без проскальзывания колес, как колебания относительно неподвижных шарнирных опор. То есть именно для этого следует составить уравнения движения, причем отдельно для поворота относительно точки A и для поворота относительно точки B . Дополнительно отметим, что случай безотрывного состояния ходовых колес на данном этапе исследований не представляет специального интереса, поэтому не рассматривается.

Выводы

Использование дискретных исследуемых моделей объекта позволяет оценить применяемые исходные схемы при разработке проектных решений АПП-30.

СПИСОК ІСПОЛЬЗОВАНИХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беликов А. С. Охрана труда в строительстве : учебник / А. С. Беликов, В. В. Сафонов, П. Н. Нажа и др.; под общ. ред. А. С. Беликова. – Киев : Основа, 2014. – 592 с.
2. Беликов А. С. Обеспечение безопасности при выполнении работ повышенной опасности / А. С. Беликов, О. А. Сабитова, В. А. Голендер, В. А. Шаломов // Международный научный журнал. – 2015. – № 2. – С. 144–158.
3. Ларін О. М. Інженерна техніка та спеціальні машини для ліквідації надзвичайних ситуацій : навч. посіб. / О. М. Ларін, І. М. Грицина, Н. І. Грицина та ін. – Харків : НУЦЗУ, КП «Міськдрук», 2012 – 380 с.
4. Покровский Ю. Ю. Современные системы конструктивной безопасности автомобилей : монография / [Ю. Ю. Покровский, К. С. Ремнев, И. С. Степанов, В. В. Ломакин]. – Тула : Издательство ТулГУ, 2007. – 163 с.
5. Махутов Н. А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования / Н. А. Махутов. – Новосибирск : Наука, 2008. – 528 с.
6. Дурденко В. А. Количественная оценка надежности интегрированной системы безопасности на основе логико-вероятностного моделирования / В. А. Дурденко, А. А. Рогожин // Вестник Воронежского института МВД России. – 2013. – № 2. – С. 207–215.
7. Sadykhov G.S. Average Number of Failure-Free Operations up to Critical Failure of a Technologically Dangerous Facility : Calculation, Limit and Non-Parametric Estimates / G.S. Sadykhov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – Vol. 42, № 1. – 2013. – Pp. 81–88.
8. Grote K.G. Die bewertungsmethodik der bauausführung der untergleiszone der hauptträger der verladebrücke / K.G. Grote, J. Postnikov, N. Makarenko, P. Gavrish, V. Schepotko, V. Kassov, V. Koinasch // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – № 3(28). – С.110–113.

REFERENCES

1. Belikov A.S., Safonov V.V., Nazha P.N., Chalyiy V.G., Shlyikov N.Yu., Shalomov V.A. and Ragimov S.Yu. *Ohrana truda v stroitelstve* [A labour protection is in building]. Kyiv : Osnova Publ., 2014, 592 p. (in Russian).
2. Belikov A.S., Sabitova O.A., Golender V.A. and Shalomov V.A. *Obespechenie bezopasnosti pri vyipolnenii rabot povyishennoy opasnosti* [Ensuring the security of the works of increased danger]. *Mezhdunarodnyiy nauchnyiy zhurnal* [International Journal], 2015, no. 2, pp. 144–158. (in Russian).
3. Larin O.M., Gritsina I.M. and Gritsina N.I. *Inzhenerna tehnika ta spetsialni mashiny dlya likvidatsiyi nadzvichaynih situatsiy* [Engineering machinery and special machines for disaster management]. Harkiv : NUTZU, KP «Miskdruk», 2012, 380 p. (in Ukrainian).
4. Pokrovskiy Yu.Yu., Remnev K.S., Stepanov I.S. and Lomakin V.V. *Sovremennyye sistemy konstruktivnoy bezopasnosti avtomobiley* [Modern structural safety of vehicles]. Tula : Izdatelstvo TulGU, 2007, 163 p. (in Russian).
5. Mahutov N.A. *Prochnost i bezopasnost. Fundamentalnyie i prikladnyie issledovaniya* [Durability and safety. Basic and applied research]. Novosibirsk : Nauka Publ., 2008, 528 p. (in Russian).
6. Durdenko V.A. and Rogozhin A.A. *Kolichestvennaya otsenka nadezhnosti integrirovannoy sistemy bezopasnosti na osnove logiko-veroyatnostnogo modelirovaniya* [Quantitative assessment of the reliability of the integrated security system based on logical-probabilistic modeling]. *Bulletin of Voronezh Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii* [Institute of Russian Ministry of Internal Affairs]. 2013, no. 2, pp. 207–215. (in Russian).
7. Sadykhov G.S. Average Number of Failure-Free Operations up to Critical Failure of a Technologically Dangerous Facility: Calculation, Limit and Non-Parametric Estimates. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, vol. 42, no. 1, 2013, pp. 81–88. (in English).
8. Grote K.G., Postnikov J., Makarenko N., Gavrish P., Schepotko V., Kassov V. und Koinasch V. Die bewertungsmethodik der bauausführung der untergleiszone der hauptträger der verladebrücke. *Visnik Donbaskoyi derzhavnoyi mashinobudivnoyi akademiyi* [Bulletin of Donbass State Engineering Academy]. Kramatorsk : DDMA, 2012, no. 3(28), pp. 110–113. (in German).

Статья рекомендована к публикации докт. техн. наук, проф. С. В. Шатовым (Украина); докт. техн. наук, проф. С. З. Полищуком (Украина)

Поступила в редакцию 27.01.2017

Принята к печати 30.01.2017